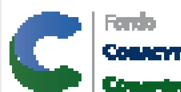
VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

Ejemplar Gratuito
Prohibida su venta

www.conafor.gob.mx





Manual para la evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León.



GOBIERNO FEDERAL

SEMARNAT





Vivir Mejor

MANUAL PARA LA EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN BOSQUES DEL SUR DE NUEVO LEÓN

CONAFOR
Comisión Nacional Forestal

CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal

www.**conafor**.gob.mx/**conacyt-conafor**
tt@**conafor**.gob.mx
Periférico Poniente 5360, San Juan de Ocotán
Zapopan, Jalisco, CP. 45019
Tel. 01 800 7370000

MANUAL PARA LA EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN BOSQUES DEL SUR DE NUEVO LEÓN

Estudio elaborado a través del Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal CONAFOR-CONACYT, CONAFOR-2002- 6054, en el año fiscal 2002.

Responsable técnico: Dr. Óscar Alberto Aguirre Calderón, profesor investigador de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Colaborador: Dr. Javier Jiménez Pérez, profesor investigador de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Glosario de abreviaturas

kg- - - - - - - - - - - - - - - - -- - - - - kilogramos
cm - centímetros
m2 - metros cuadrados
ton - toneladas
ha - hectárea
N - Número de árboles
IS - índice de sitio
GD - Grado de densidad

Contenido

1. Introducción

2. Evaluación del contenido de carbono 2

2.1. Evaluación del contenido de carbono a partir de datos de diámetro de árboles individuales 3

Pinus pseudostrobus 4

Pinus teocote 5

Quercus spp. 6

2.1.1 Ejemplos 7

2.1.1.1 Bosque puro de pino 7

2.1.1.2 Bosque de Pino 8

2.1.1.3 Bosque de Pino – Encino 9

2.1.1.4 Bosque de Encino - Pino 10

2.2. Evaluación empleando tablas de biomasa y contenido de carbono. 11

2.2.1 Ejemplos

2.2.1.1 Pinus pseudostrobus 12

2.2.1.2 Pinus teocote 13

3. Comentarios finales 20

3. Comentarios finales

Los métodos presentados en este manual constituyen opciones prácticas para la evaluación del contenido de carbono en ecosistemas forestales puros y coetáneos de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote*, así como en bosques mixtos de estas especies de pino y cuando conforman mezclas con especies del género *Quercus*. Los datos de biomasa y contenido de carbono pueden derivarse de los datos de inventario convencionales de sitios temporales de muestreo empleando tarifas basadas en las categorías diamétricas de los árboles individuales, así como mediante la obtención de valores promedio en bosques puros y coetáneos, empleando los valores de referencia de las tablas elaboradas para las diferentes condiciones de productividad de las principales especies de pino en bosques del Sur de Nuevo León.

Tabla 10.

Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus teocote*, IS 12

Edad (años)	Número de árboles/ha	Diámetro (cm)	Área basal (m^2)	Biomasa/ha (ton)	Carbono/ha (ton)
13	3729	5.7	9.6	5.34	2.68
15	3128	6.6	10.7	5.66	2.84
20	2247	8.6	13	11.21	5.63
25	1174	10.3	14.9	14.26	7.16
30	1481	11.9	16.5	35.39	17.76
35	1281	13.3	17.9	49.25	24.72
40	1137	14.6	19.1	63.01	31.63
45	1028	15.8	20.2	75.87	38.09
50	942	16.9	21.1	87.31	43.83
55	873	17.9	22.0	97.21	48.80
60	817	18.8	22.8	105.56	52.99
65	769	19.7	23.5	113.75	57.10
70	729	20.5	24.1	120.43	60.45
75	694	21.3	24.7	126.98	63.75
80	664	22	25.2	132.06	66.29
85	637	22.7	25.7	137.01	68.78
90	614	23.3	26.2	140.70	70.63
95	593	23.9	26.6	144.33	72.45
100	574	24.5	27.0	147.94	74.27

Tabla 10.

Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus teocote*, IS 9

Edad (años)	Número de árboles/ha	Diámetro (cm)	Área basal (m^2)	Biomasa/ha (ton)	Carbono/ha (ton)
19	3822	5.6	9.5	5.39	2.71
20	3606	5.9	9.8	5.36	2.69
25	2832	7.1	11.3	6.31	3.17
30	2356	8.3	12.6	9.92	4.98
35	2034	9.3	13.8	14.91	7.49
40	1803	10.2	14.8	20.88	10.48
45	1628	11.1	15.6	28.29	14.20
50	1492	11.8	16.4	34.33	17.23
55	1383	12.6	17.2	42.42	21.30
60	1293	13.2	17.8	48.20	24.20
65	1218	13.9	18.4	55.88	28.05
70	1155	14.5	19.0	62.37	31.31
75	1100	15.0	19.5	67.40	33.83
80	1053	15.5	19.9	72.63	36.46
85	1012	16.0	20.4	78.02	39.17
90	975	16.5	20.8	83.47	41.90
95	942	16.9	21.1	87.31	43.83
100	913	17.3	21.5	91.30	45.83

1.Introducción.

El presente manual constituye un instrumento para la evaluación del contenido de carbono en bosques del Sur de Nuevo León, e integra los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto apoyado por la Comisión Nacional Forestal y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través del Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal, Proyecto CONAFOR-2002-C01-6054.

Actualmente se reconoce la importancia de los bosques como un medio para mitigar las emisiones de gases efecto invernadero, considerados los causantes del cambio climático, particularmente el bióxido de carbono (CO_2), es el gas con mayor participación y se fija a través del proceso de fotosíntesis.

Así, para contrarrestar las emisiones de carbono, un número creciente de instituciones y organizaciones de diferentes países están considerando planes para preservar bosques naturales, mejorar el manejo de bosques y establecer plantaciones.

Llevar a cabo proyectos de este tipo en el Estado de Nuevo León, requiere contar con métodos de medición confiables que sean costo-eficientes para evaluar el contenido de carbono de ecosistemas forestales.

Se ha desarrollado con objeto de que los responsables del manejo forestal en el área de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, cuenten con un instrumento práctico para realizar estimaciones sobre la prestación del servicio ambiental Captura de Carbono de las áreas bajo su responsabilidad, con objeto de desarrollar proyectos que beneficien a las comunidades del área, y permitan un uso diversificado y sustentable de sus recursos forestales.

Tabla 9.

Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus teocote*, IS 18

Edad (años)	Número de árboles/ha	Diámetro (cm)	Área basal (m^2)	Biomasa/ha (ton)	Carbono/ha (ton)
8	3622	5.9	9.8	5.38	2.70
10	2674	7.5	11.7	7.26	3.64
15	1618	11.1	15.7	28.11	14.11
20	1171	14.3	18.8	59.98	30.11
25	928	17.1	21.3	89.38	44.87
30	774	19.6	23.4	112.85	56.65
35	669	21.9	25.1	131.52	66.02
40	593	23.9	26.6	144.33	72.45
45	534	25.8	27.9	154.41	77.51
50	488	27.5	29.0	161.36	81.00
55	451	29.1	29.9	166.80	83.73
60	420	30.5	30.8	169.68	85.18
65	394	31.9	31.5	172.54	86.62
70	372	33.2	32.2	174.51	87.60
75	353	34.4	32.8	175.65	88.17
80	336	35.5	33.4	175.85	88.28
85	322	36.6	33.8	176.71	88.71
90	309	37.6	34.3	176.63	88.67
95	297	38.6	34.7	176.46	88.58

Tabla 10.

Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus teocote*, IS 15

Edad (años)	Número de árboles/ha	Diámetro (cm)	Área basal (m^2)	Biomasa/ha (ton)	Carbono/ha (ton)
10	3614	5.9	9.8	5.37	2.69
15	2171	8.8	13.3	12.11	6.08
20	1568	11.4	16.0	30.84	15.48
25	1241	13.7	18.2	53.77	26.99
30	1037	15.7	21.1	74.85	37.57
35	897	17.5	21.7	93.05	46.71
40	796	19.2	23.1	109.39	54.91
45	719	20.7	24.3	121.94	61.21
50	658	22.1	25.3	132.38	66.45
55	609	23.4	26.2	140.99	70.78
60	569	24.6	27.1	148.02	74.31
65	535	25.7	27.8	153.40	77.01
70	506	26.8	28.5	158.65	79.64
75	482	27.7	29.1	161.74	81.19
80	460	28.7	29.7	165.62	83.14
85	441	29.5	30.2	167.41	84.04
90	424	30.3	30.7	169.23	84.96
95	409	31.1	31.1	171.20	85.94
100	395	31.9	31.5	172.98	86.84

Tabla 7.

Tabla para la estimación del índice de sitio de ecosistemas de *Pinus teocote*

	Índice de sitio a la edad de 50 años				
	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0
Edad (años)	Rango de altura dominante (m)				
5	1.4 – 1.9	2.0 – 2.5	2.6 – 3.1	3.2 – 3.6	3.7 - 4.3
10	2.6 – 3.6	3.7 – 4.6	4.7 – 5.7	5.8 – 6.7	6.8 - 7.8
15	3.6 – 4.9	5.0 – 6.3	6.4 – 7.7	7.8 – 9.2	9.3 - 10.7
20	4.4 – 6.0	6.1 – 7.8	7.9 – 9.5	9.6 – 11.2	11.3 - 13.1
25	5.0 – 7.0	7.1 – 9.0	9.1 – 11.0	11.1 – 13.0	13.1 - 15.1
30	5.7 – 7.8	7.9 – 10.1	10.2 – 12.3	12.4 – 14.6	14.7 - 17.0
35	6.2 – 8.6	8.7 – 11.0	11.1 – 13.5	13.6 – 16.0	16.1 - 18.6
40	6.7 – 9.2	9.3 – 11.9	12.0 – 14.6	14.7 – 17.2	17.3 - 20.0
45	7.1 – 9.8	9.9 – 12.7	12.8 – 15.5	15.6 – 18.4	18.5 - 21.3
50	7.5 – 10.4	10.5 – 13.4	13.5 – 16.4	16.5 – 19.4	19.5 - 22.5
55	7.9 – 10.9	11.0 – 14.1	14.2 – 17.2	17.3 – 20.3	20.4 - 23.6
60	8.2 – 11.4	11.5 – 14.7	14.8 – 17.9	18.0 – 21.2	21.3 - 24.6
65	8.5 – 11.8	11.9 – 15.2	15.3 – 18.6	18.7 – 22.0	22.1 - 25.5
70	8.8 – 12.2	12.3 – 15.7	15.8 – 19.3	19.4 – 22.8	22.9 - 26.4
75	9.1 – 12.6	12.7 – 16.2	16.3 – 19.9	20.0 – 23.5	23.6 - 27.2
80	9.3 – 13.0	13.1 – 16.7	16.8 – 20.4	20.5 – 24.2	24.3 - 28.0
85	9.6 – 13.3	13.4 – 17.1	17.2 – 21.9	21.0 – 24.9	24.9 - 28.7
90	9.8 – 13.6	13.7 – 17.5	17.6 – 21.5	21.5 – 25.5	25.5 - 29.4
95	10.0 – 13.9	14.0 – 17.9	18.0 – 21.9	22.0 – 26.0	26.0 - 30.0
100	10.2 – 14.2	14.3 – 18.3	18.4 – 22.3	22.4 – 26.4	26.5 - 30.6

Tabla 8.

Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus teocote*, IS 21

Edad (años)	Número de árboles/ha	Diámetro (cm)	Área basal (m^2)	Biomasa/ha (ton)	Carbono/ha (ton)
7	3389	6.2	10.2	5.40	2.71
10	2081	9.1	13.6	13.70	6.88
15	1264	13.5	18.0	51.63	25.92
20	916	17.3	21.5	91.60	45.98
25	724	20.6	24.2	121.19	60.84
30	604	23.6	26.4	142.70	71.63
35	520	26.3	28.2	156.69	78.66
40	459	28.7	29.7	165.26	82.96
45	413	30.9	31.0	170.87	85.78
50	376	33.0	32.1	174.59	87.65
55	346	34.9	33.0	176.23	88.47
60	322	36.6	33.9	176.71	88.71
65	301	38.3	34.6	176.81	88.76

2. Evaluación del contenido de carbono

En este manual se describen dos metodologías para la estimación de la biomasa y contenido de carbono en ecosistemas forestales.

El primer método se basa en el desarrollo de inventarios forestales realizando un registro diamétrico de cada uno de los individuos de áreas con diversidad estructural y/o mezcla de especies, en rodales constituidos por *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote* y/o *Quercus* spp.

El segundo método consiste en la estimación de los parámetros de interés mediante la aplicación de tablas de biomasa y contenido de carbono para ecosistemas puros de las especies de pino antes mencionadas.

2.1. Evaluación del contenido de carbono a partir de datos de diámetro de árboles individuales

Este método se basa en el cálculo de la biomasa y contenido de carbono de árboles de diferentes categorías diamétricas y la suma de los valores individuales para estimar los montos correspondientes por unidad de superficie.

Mismo que contempla el desarrollo de inventarios forestales convencionales o específicos para la evaluación de este servicio ambiental, en los que se obtienen los diámetros normales de todos los individuos presentes en los sitios de muestreo.

Los sitios pueden ser circulares con dimensiones convencionales de 1000 o 500 metros cuadrados de superficie, o como los que se establecieron en este proyecto con un área de 400 metros cuadrados.

Para la estimación de la biomasa de árboles individuales se emplean las ecuaciones desarrolladas para las especies *Pinus pseudostrobus, Pinus teocote y Quercus* spp., que se anotan en los siguientes párrafos, o las tarifas elaboradas a partir de éstas que incluyen los datos de biomasa y carbono como una función de las categorías diamétricas.

Para calcular el contenido de carbono de árboles individuales se multiplica el valor de biomasa por el porcentaje de carbono determinado para cada especie o grupo de especies, éstos fueron: para *Pinus pseudostrobus* de 49.7%, para *Pinus teocote* de 50.2% y para *Quercus* spp. de 48.6%.

Tabla 5.

Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus pseudostrobus*, IS 13.5

Edad (años)	Número de árboles/ha	Diámetro (cm)	Área basal (m^2)	Biomasa/ha (ton)	Carbono/ha (ton)
13	4415	6.2	13.5	6.72	3.34
15	3354	7.9	16.3	9.84	4.89
20	2073	11.7	22.1	38.66	19.21
25	1507	15.0	26.7	78.96	39.24
30	1196	18.0	30.4	117.26	58.28
35	1001	20.7	33.5	148.15	73.63
40	868	23.0	36.1	169.20	84.09
45	772	25.1	38.3	185.24	92.06
50	700	27.0	40.1	197.16	97.99
55	643	28.7	41.7	205.32	102.04
60	597	30.3	43.1	211.80	105.26
65	560	31.8	44.4	217.19	107.94
70	529	33.1	45.5	220.20	109.44
75	503	34.3	46.5	222.45	110.56
80	480	35.4	47.3	223.58	111.12
85	460	36.5	48.2	224.98	111.81
90	443	37.5	48.9	225.93	112.29
95	427	38.4	49.5	225.71	112.18
100	413	39.3	50.2	225.90	112.27

Tabla 6.

Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus pseudostrobus*, IS 11

Edad (años)	Número de árboles/ha	Diámetro (cm)	Área basal (m^2)	Biomasa/ha (ton)	Carbono/ha (ton)
19	4693	6.0	12.9	6.87	3.41
20	4240	6.4	13.9	6.77	3.37
25	2995	8.6	17.5	12.74	6.33
30	2321	10.6	20.6	27.20	13.52
35	1911	12.4	23.3	46.22	22.97
40	1636	14.1	25.5	67.59	33.59
45	1439	15.6	27.5	87.07	43.27
50	1292	17.0	29.2	105.28	52.32
55	1178	18.2	30.7	119.57	59.43
60	1088	19.4	32.1	133.94	66.57
65	1013	20.5	33.3	145.96	72.54
70	952	21.5	34.4	156.10	77.58
75	899	22.4	35.4	163.98	81.50
80	855	23.3	36.4	172.08	85.52
85	816	24.1	37.2	178.15	88.54
90	780	24.9	38.1	183.76	91.33
95	752	25.6	38.7	188.64	93.75
100	726	26.3	39.4	193.27	96.06

Tabla 3:

Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus pseudostrobus*, IS 18.5

Edad (años)	Número de árboles/ha	Diámetro (cm)	Área basal (m^2)	Biomasa/ha (ton)	Carbono/ha (ton)
11	4557	6.1	13.2	6.80	3.38
15	2493	10.0	19.7	22.01	10.94
20	1571	14.5	26.1	72.38	35.97
25	1155	18.5	31.0	123.31	61.29
30	924	21.9	34.9	159.02	79.03
35	780	25.0	38.1	185.46	92.17
40	679	27.6	40.7	200.25	99.53
45	607	30.0	42.8	211.31	105.02
50	552	32.1	44.7	217.72	108.21
55	509	34.0	46.2	221.81	110.24
60	474	35.6	47.6	222.81	110.73
65	446	37.3	48.7	225.60	112.12
70	422	38.8	49.8	226.53	112.58
75	401	40.1	50.7	225.81	112.23
80	384	41.3	51.5	225.41	112.03
85	369	42.4	52.2	224.55	111.60

Tabla 4.

Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus pseudostrobus*, IS 16

Edad (años)	Número de árboles/ha	Diámetro (cm)	Área basal (m^2)	Biomasa/ha (ton)	Carbono/ha (ton)
13	4415	6.2	13.5	6.72	3.34
15	3354	7.9	16.3	9.84	4.89
20	2073	11.7	22.1	38.66	19.21
25	1507	15.0	26.7	78.96	39.24
30	1196	18.0	30.4	117.26	58.28
35	1001	20.7	33.5	148.15	73.63
40	868	23.0	36.1	169.20	84.09
45	772	25.1	38.3	185.24	92.06
50	700	27.0	40.1	197.16	97.99
55	643	28.7	41.7	205.32	102.04
60	597	30.3	43.1	211.80	105.26
65	560	31.8	44.4	217.19	107.94
70	529	33.1	45.5	220.20	109.44
75	503	34.3	46.5	222.45	110.56
80	480	35.4	47.3	223.58	111.12
85	460	36.5	48.2	224.98	111.81
90	443	37.5	48.9	225.93	112.29
95	427	38.4	49.5	225.71	112.18
100	413	39.3	50.2	225.90	112.27

Pinus pseudostrobus

La fórmula para estimar la biomasa área es la siguiente:

Ecuación 1

$$b = 2354.14e^{(-57453/d)} + 1.3$$

Donde:

b = biomasa (kilogramos)
d = diámetro normal (se mide a la altura del tronco de 1.3 metros) en centímetros

Tarifa para la estimación de biomasa y contenido de carbono de Pinus pseudostrobus

Diámetro (cm)	Biomasa (kg)	Carbono (kg)
5	1.32	0.66
10	8.83	4.39
15	52.40	26.04
20	134.42	66.81
25	237.77	118.17
30	348.13	173.02
35	457.27	227.26
40	561.11	278.87
45	657.98	327.02
50	747.41	371.46
55	829.56	412.29
60	904.89	449.73

Pinus teocote

La fórmula para estimar la biomasa área es la siguiente:

Ecuación 2

$$b = 2543.055\ e^{(-56.209/d)} + 1.3$$

Donde:

b = biomasa (kilogramos)
d = diámetro normal (se mide a la altura del tronco de 1.3 metros) en centímetros

Tarifa para la estimación de biomasa y contenido de carbono de Pinus teocote

Diámetro (cm)	Biomasa (kg)	Carbono (kg)
5	1.33	0.67
10	10.51	5.28
15	61.27	30.76
20	154.34	77.48
25	269.78	135.43
30	391.82	196.70
35	511.68	256.86
40	625.14	313.82
45	730.56	366.74
50	827.59	415.45
55	916.50	460.08
60	997.86	500.92

Tabla 1:

Tabla para la estimación del índice de sitio de ecosistemas de *Pinus pseudostrobus*

Edad (años)	Índice de sitio a la edad de 50 años				
	11.0	13.5	16.0	18.5	21.0
	Rango de altura dominante (m)				
5	0.4 - 0.5	0.6 – 0.8	0.9 - 1.1	1.2 - 1.4	1.5 - 1.8
10	1.8 - 2.5	2.6 – 3.2	3.3 - 4.0	4.1 - 4.8	4.9 - 5.8
15	3.3 - 4.4	4.5 – 5.5	5.6 - 6.7	6.8 - 7.9	8.0 - 9.3
20	4.6 - 6.0	6.1 - 7.4	7.5 - 8.9	9.0 - 10.5	10.6 - 12.1
25	5.7 - 7.4	7.5 - 9.1	9.2 - 10.8	10.9 - 12.6	12.7 - 14.5
30	6.7 - 8.6	8.7 - 10.5	10.6 - 12.5	12.6 - 14.4	14.5 - 16.5
35	7.6 - 9.7	9.8 - 11.8	11.9 - 13.9	14.0 - 16.0	16.1 - 18.2
40	8.4 - 10.6	10.7 - 12.8	12.9 - 15.1	15.2 - 17.4	17.5 - 19.7
45	9.1 - 11.4	11.5 - 13.8	13.9 - 16.2	16.3 - 18.6	18.7 - 21.1
50	9.7 - 12.2	12.3 - 14.7	14.8 - 17.2	17.3 - 19.7	19.8 - 22.2
55	10.3 - 12.9	13.0 - 15.5	15.6 - 18.1	18.2 - 20.7	20.8 - 23.3
60	10.8 - 13.5	13.6 - 16.2	16.3 - 18.9	19.0 - 21.6	21.7 - 24.3
65	11.3 - 14.1	14.2 - 16.9	17.0 - 19.7	19.8 - 22.4	22.5 - 25.2
70	11.8 - 14.7	14.8 - 17.5	17.6 - 20.3	20.4 - 23.2	23.3 - 26.0
75	12.2 - 15.2	15.3 - 18.1	18.2 - 21.0	21.1 - 23.9	24.0 - 26.8
80	12.6 - 15.6	15.7 - 18.6	18.7 - 21.6	21.7 - 24.5	24.6 - 27.5
85	13.0 - 16.1	16.2 - 19.1	19.2 - 22.1	22.2 - 25.1	25.2 - 28.1
90	13.3 - 16.5	16.6 - 19.6	19.7 - 22.7	22.8 - 25.7	25.8 - 28.8
95	13.7 - 16.9	17.0 - 20.0	20.1 - 23.1	23.2 - 26.2	26.3 - 29.3
100	14.0 - 17.2	17.3 - 20.4.	20.5 - 23.6	23.7 - 26.7	26.8 - 29.9

Tabla 2.

Tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus pseudostrobus*, IS 21

Edad (años)	Número de árboles/ha	Diámetro (cm)	Área basal (m^2)	Biomasa/ha (ton)	Carbono/ha (ton)
10	4240	6.5	13.9	6.96	3.46
15	1929	12.4	23.1	46.66	23.19
20	1233	17.6	30.0	112.54	55.93
25	915	22.2	35.1	163.11	81.07
30	738	26.0	39.1	191.60	95.23
35	625	29.3	42.3	207.89	103.32
40	548	32.2	44.8	217.34	108.02
45	491	34.9	46.9	223.47	111.06
50	449	37.1	48.6	225.25	111.95
55	415	39.2	50.1	226.15	112.40
60	387	41.1	51.3	225.64	112.14
65	365	42.7	52.4	224.23	111.44

2.2.1.2 Pinus teocote

Para *Pinus teocote*, los resultados del inventario en un ecosistema puro y coetáneo fueron:

Edad promedio: 50 años
Altura dominante: 15.9 metros
Área basal: 20.4 metros cuadrados por hectárea

Siguiendo la metodología del ejemplo desarrollado para *Pinus pseudostrobus*, se obtiene para *Pinus teocote* un valor de IS de 15, ya que a la edad de 50 años los árboles se ubican en el rango de altura dominante de 13.5 a 16.4 metros (Tabla 7). El grado de densidad obtenido a partir de los datos de área basal de la tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus teocote*, IS 15 (Tabla 10). En la Tabla se observa que un rodal de densidad completa de *Pinus teocote* tiene a la edad de 50 años un área basal de 25.3 metros cuadrados por hectárea y el valor real obtenido en campo es de 20.4 metros cuadrados por hectárea. El grado de densidad es entonces:

$$GD = \frac{20.4}{25.3} = 0.81$$

De la multiplicación de los valores de biomasa y carbono de la tabla a la edad de 50 años, por el grado de densidad (0.81) se obtiene en el ejemplo (compare fórmula 5):

Biomasa = 132.38 * 0.81 = 107.23 toneladas por hectárea
Contenido de carbono = 66.45 * 0.81 = 53.82 toneladas por hectárea

Quercus spp.

La fórmula para estimar la biomasa área es la siguiente:

Ecuación 3

$$b= 4371.395\ e^{(-70.972/d)} +1.3$$

b = biomasa (kilogramos)
d = diámetro normal (se mide a la altura del tronco de 1.3 metros) en centímetros

Tarifa para la estimación de biomasa y contenido de carbono de Quercus spp.

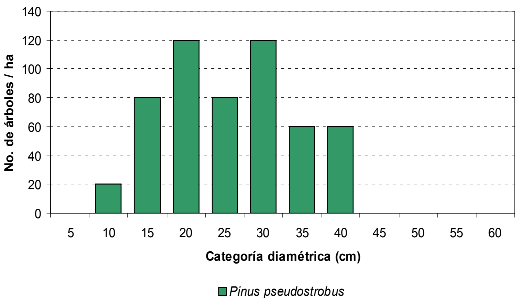
Categoría diamétrica (cm)	Biomasa (kg)	Carbono (kg)
5	1.30	0.63
10	4.92	2.39
15	39.83	19.36
20	127.04	61.74
25	256.99	124.90
30	411.69	200.08
35	576.70	280.28
40	742.70	360.95
45	904.26	439.47
50	1058.52	514.44
55	1204.14	585.21
60	1340.69	651.58

2.1.1 Ejemplos

A continuación se presentan ejemplos de cálculo del contenido de carbono empleando datos de inventario forestal obtenidos en sitios de muestreo establecidos en los principales tipos de bosques del Sur de Nuevo León.

2.1.1.1 Bosque puro de pino

Bosque de *Pinus pseudostrobus* con 540 individuos por hectárea. En la gráfica se muestra la distribución diamétrica. En la tabla se presentan los valores de biomasa y contenido de carbono por categoría diamétrica y totales, calculados con la ecuación 1 y el valor de porcentaje de carbono. El total de biomasa es de 142.4 toneladas por hectárea y el de carbono de 71.48 toneladas por hectárea.



Categoría diamétrica (cm)	Número de árboles/ha	Biomasa (ton)	Carbono (ton)
10	20	0.18	0.09
15	80	4.19	2.10
20	120	16.13	8.10
25	80	19.02	9.55
30	120	41.78	20.97
35	60	27.44	13.77
40	60	33.67	16.90
Total	540	142.40	71.48

Área basal real = valor obtenido en campo
Área basal de la tabla = valor de área basal de la tabla de biomasa y contenido de carbono para el índice de sitio correspondiente

Como se mencionó anteriormente, en el ejemplo se emplea la tabla del índice de sitio 21, en ella se observa que un rodal de densidad completa de *Pinus pseudostrobus* tiene a la edad de 35 años un área basal de 42.3 metros cuadrados por hectárea y el valor obtenido en el ecosistema inventariado es de 28 metros cuadrados por hectárea. El grado de densidad es por lo tanto, de acuerdo a la ecuación 4:

$$GD = \frac{28.6}{42.3} = 0.68$$

Dado que existe una relación lineal entre el área basal y la biomasa y contenido de carbono, para el cálculo de los valores correspondientes se multiplica el valor de biomasa y carbono de la tabla a la edad de 35 años por el grado de densidad determinado. Esto es:

Ecuación 5

$$\textit{Variable a calcular} = \textit{valor de la tabla} * GD$$

En el ejemplo:
Biomasa = 207.89 * 0.68 = 141.36 toneladas por hectárea
Contenido de carbono = 103.32 * 0.68 = 70.26 toneladas por hectárea

2.2. Evaluación empleando tablas de biomasa y contenido de carbono.

Una segunda metodología para la evaluación del contenido de carbono en ecosistemas puros coetáneos de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote* se desarrolló a partir de la elaboración de tablas de biomasa y contenido de carbono para diferentes condiciones de productividad o índices de sitio.

En las siguientes páginas se presentan las tablas para la estimación del índice de sitio de las especies de pino mencionadas, así como las tablas correspondientes para cada condición de productividad, las cuales incluyen datos de edad, número de árboles por ha en ecosistemas de densidad completa, diámetro normal ($d_{1.3}$), área basal, biomasa y contenido de carbono.

2.2.1 Ejemplos

2.2.1.1 Pinus pseudostrobus

A continuación se desarrolla un ejemplo para la estimación del índice de sitio (IS) y del contenido de carbono en un rodal puro de *Pinus pseudostrobus*, para el cual se obtuvieron los siguientes datos dasométricos.

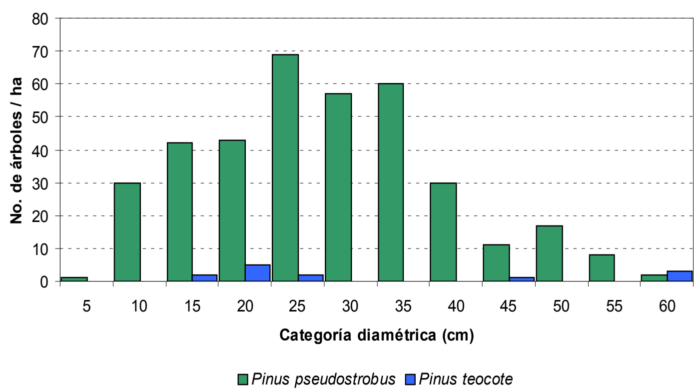
Edad promedio: 35 años
Altura dominante: 16.5 metros
Área basal: 28.6 metros cuadrados por hectárea

Empleando la tabla para la estimación del índice de sitio de ecosistemas de *Pinus pseudostrobus* (Tabla 1), se obtiene un valor de IS de 21, ya que a la edad de 35 años los árboles objeto de estudio se ubican en el rango de 16.1 a 18.2 metros. Esta primera determinación es la base para el cálculo de la biomasa y el contenido de carbono utilizando la tabla de biomasa y contenido de carbono para *Pinus pseudostrobus*, IS 21 (Tabla 2). Para la estimación debe calcularse primeramente el Grado de Densidad (GD) de acuerdo a la fórmula siguiente:

Ecuación 4 $$GD = \frac{\text{Área basal real}}{\text{Área basal de la tabla}}$$

2.1.1.2 Bosque de Pino

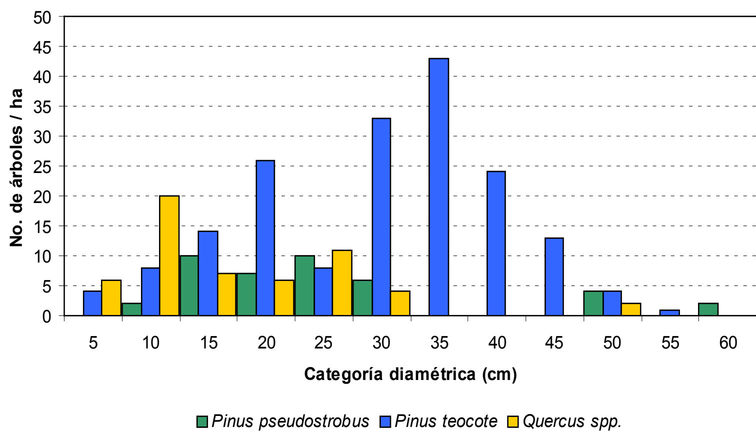
Bosque mixto de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote* con 383 individuos por hectárea. En la gráfica se muestra la distribución diamétrica de ambas especies. En la tabla se presentan los valores de biomasa y contenido de carbono por categoría diamétrica y totales, calculados con las ecuaciones 1 y 2 y los valores de porcentaje de carbono. El total de biomasa es de 122.31 toneladas por hectárea y el de carbono de 60.82 toneladas por hectárea.



Categoría diamétrica (cm)	*Pinus pseudostrobus*			*Pinus teocote*		
	Número de árboles/ha	Biomasa (ton)	Carbono (ton)	Número de árboles/ha	Biomasa (ton)	Carbono (ton)
5	1	0.001	0.0007	-	-	-
10	30	0.265	0.1316	-	-	-
15	42	2.201	1.0937	2	0.123	0.0615
20	43	5.780	2.8728	5	0.772	0.3874
25	69	16.406	8.1538	2	0.540	0.2709
30	57	19.843	9.8621	-	-	-
35	60	27.436	13.6356	-	-	-
40	30	16.833	8.3662	-	-	-
45	11	7.238	3.5972	1	0.731	0.3667
50	17	12.706	6.3149	-	-	-
55	8	6.637	3.2983	-	-	-
60	2	1.810	0.8995	3	2.994	1.5028
Total	370	117.156	58.2264	13	5.158	2.5893

2.1.1.3 Bosque de Pino – Encino

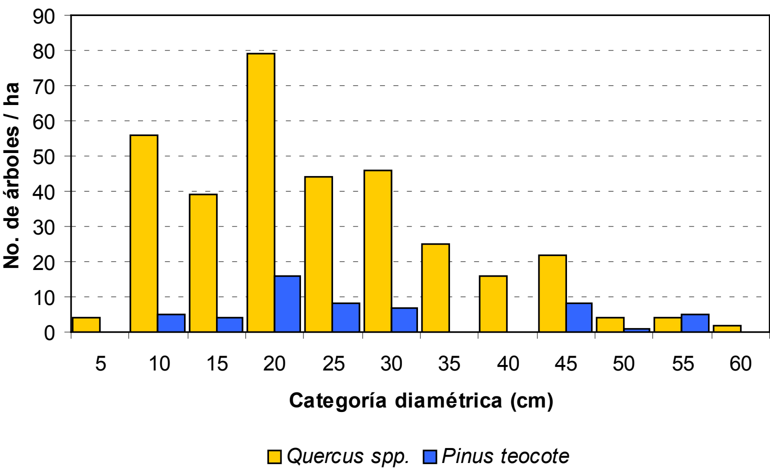
Bosque mixto de *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote* y *Quercus* spp., con 275 individuos por hectárea. En la gráfica se muestra la distribución diamétrica de las especies. En la tabla se presentan los valores de biomasa y contenido de carbono por categoría diamétrica y totales, calculados con las ecuaciones 1, 2 y 3 y los valores de porcentaje de carbono. El total de biomasa es de 89.26 toneladas por hectárea y el de carbono de 44.63 toneladas por hectárea.



Cat. diam. (cm)	*Pinus teocote*			*Pinus pseudostrobus*			*Quercus spp.*		
	N /ha	Biomasa (ton)	Carbono (ton)	N/ha	Biomasa (ton)	Carbono (ton)	N/ha	Biomasa (ton)	Carbono (ton)
5	4	0.005	0.003	-	-	-	6	0.008	0.004
10	8	0.084	0.042	2	0.018	0.009	20	0.098	0.048
15	14	0.858	0.431	10	0.524	0.260	7	0.279	0.135
20	26	4.013	2.014	7	0.941	0.468	6	0.762	0.370
25	8	2.158	1.083	10	2.378	1.182	11	2.827	1.374
30	33	12.930	6.491	6	2.089	1.038	4	1.647	0.800
35	43	22.002	11.045	-	-	-	-	-	-
40	24	15.003	7.532	-	-	-	-	-	-
45	13	9.497	4.768	-	-	-	-	-	-
50	4	3.310	1.662	4	2.990	1.486	2	2.117	1.029
55	1	0.916	0.460	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	2	1.810	0.899	-	-	-
Total	178	70.778	35.531	41	10.748	5.342	56	7.738	3.761

2.1.1.4 Bosque de Encino - Pino

Bosque mixto de *Quercus* spp. y *Pinus teocote* con 395 individuos por hectárea. En la gráfica se muestra la distribución diamétrica de las especies. En la tabla se presentan los valores de biomasa y contenido de carbono por categoría diamétrica y totales, calculados con las ecuaciones 1, 2 y 3 y los valores de porcentaje de carbono. El total de biomasa es de 118.96 toneladas por hectárea y el de carbono de 58.12 toneladas por hectárea.



Categoría diamétrica (cm)	*Quercus spp.*			*Pinus teocote*		
	Número de árboles/ha	Biomasa (ton)	Carbono (ton)	Número de árboles/ ha	Biomasa (ton)	Carbono (ton)
5	4	0.005	0.003	-	-	-
10	56	0.275	0.134	5	0.053	0.026
15	39	1.553	0.755	4	0.245	0.123
20	79	10.036	4.878	16	2.469	1.240
25	44	11.307	5.495	8	2.158	1.083
30	46	18.938	9.204	7	2.743	1.377
35	25	14.418	7.007	-	-	-
40	16	11.883	5.775	-	-	-
45	22	19.894	9.668	8	5.844	2.934
50	4	4.234	2.058	1	0.828	0.415
55	4	4.817	2.341	5	4.582	2.300
60	2	2.681	1.303	-	-	-
Total	341	100.042	48.620	54	18.923	9.499